Santé Canada Health Canada

Votre santé et votre sécurité... notre priorité. *Your health and safety... our priority.*

LIMITES D'EXPOSITION HUMAINE À L'ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE RADIOÉLECTRIQUE DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES DE 3 KHZ À 300 GHZ

Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation
Direction des sciences de la santé environnementale et de la radioprotection
Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs
Santé Canada

CODE DE SÉCURITÉ 6 (2015)

Canada

Santé Canada est le ministère fédéral qui aide les Canadiennes et les Canadiens à maintenir et à améliorer leur état de santé. Nous évaluons l'innocuité des médicaments et de nombreux produits de consommation, aidons à améliorer la salubrité des aliments et offrons de l'information aux Canadiennes et aux Canadiens afin de les aider à prendre de saines décisions. Nous offrons des services de santé aux peuples des Premières nations et aux communautés inuites. Nous travaillons de pair avec les provinces pour nous assurer que notre système de santé répond aux besoins de la population canadienne.

Also available in English under the title:
Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Energy in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz

Pour obtenir plus d'information, veuillez communiquer avec :

Santé Canada
Indice de l'adresse 0900C2
Ottawa (Ontario) K1A 0K9
Tél. : 613-957-2991
Sans frais : 1-866-225-0709
Téléc. : 613-941-5366
ATS : 1-800-465-7735
Courriel : publications@hc-sc.gc.ca

On peut obtenir, sur demande, la présente publication en formats de substitution.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par la ministre de la Santé, 2015

Date de publication : juin 2015

La présente publication peut être reproduite sans autorisation pour usage personnel ou interne seulement, dans la mesure où la source est indiquée en entier.

Cat. : H129-48/2015F-PDF
ISBN : 978-0-660-02467-7
Pub. : 150022

AVANT-PROPOS

Le présent document fait partie d'une série de codes de sécurité rédigés par le Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation, de Santé Canada. Ces codes de sécurité spécifient les règles à observer pour l'utilisation sécuritaire des dispositifs émettant des rayonnements, et l'exposition sécuritaire à ces rayonnements. La présente révision remplace l'ancienne version du Code de sécurité 6 publiée en 2009.

Le présent code vise à établir des limites de sécurité pour l'exposition des personnes aux champs de radiofréquences (RF) dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz. Ces limites s'appliquent à toutes les personnes qui travaillent ou sont en visite dans des emplacements réglementés par le gouvernement fédéral. Ces lignes directrices peuvent être adoptées par les provinces, l'industrie ou d'autres parties intéressées. Le ministère de la Défense nationale est tenu de respecter les exigences du présent code de sécurité, sauf dans les cas où il juge que cela compromettrait ses activités touchant la formation et les opérations des Forces armées canadiennes. Le présent code a été adopté comme fondement scientifique aux spécifications de conformité pour la certification du matériel et l'exposition aux champs RF énoncées dans les documents de réglementation d'Industrie Canada (1–3) qui régissent l'utilisation au Canada des dispositifs sans fil, p. ex. téléphones cellulaires, tours de téléphonie cellulaire (stations de base) et antennes de diffusion. Le Code de sécurité 6 ne s'applique pas à des expositions délibérées aux fins du traitement de patients par des médecins, ou sous la direction de médecins. Le Code de sécurité 6 n'est pas destiné à servir de document de spécification des performances de produits, car les limites qu'il présente visent à limiter l'exposition des personnes à l'énergie RF et sont indépendantes de la source de cette énergie.

Dans un domaine où la technologie progresse rapidement et où des situations d'exposition uniques et imprévues peuvent survenir, le présent code ne peut pas tenir compte de toutes les situations possibles. Par conséquent, les spécifications ci-incluses pourraient nécessiter une interprétation dans des circonstances spéciales. Cette interprétation devrait se faire en consultation avec le personnel scientifique du Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation, de Santé Canada.

Les limites d'exposition indiquées dans le présent code se fondent sur un examen continu des études scientifiques publiées concernant les effets de l'énergie RF sur la santé et son interaction avec le corps humain. Le présent code est révisé périodiquement pour tenir compte de l'évolution des connaissances diffusées dans les publications scientifiques, et les limites d'exposition pourront être modifiées au besoin.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS I

1. INTRODUCTION 1

1.1 Objectif du code 2

2. LIMITES D'EXPOSITION MAXIMALE 2

2.1 Restrictions de base 5

2.1.1 Limites d'intensité du champ électrique interne (3 kHz–10 MHz) 5

2.1.2 Limites du débit d'absorption spécifique (100 kHz–6 GHz) 5

2.1.3 Fréquences de 6 GHz–300 GHz 6

2.2 Niveaux de référence 6

2.2.1 Intensité des champs électriques et magnétiques (3 kHz–10 MHz) 6

2.2.2 Intensité du champ électrique, intensité du champ magnétique et densité de puissance (10 MHz–300 GHz) 8

2.2.3 Courant induit et courant de contact (3 kHz–110 MHz) 10

ABRÉVIATIONS 12

DÉFINITIONS 13

RÉFÉRENCES 15

1. INTRODUCTION

Les rayonnements électromagnétiques sont émis par de nombreuses sources naturelles et artificielles et font partie de notre quotidien. Nous pouvons sentir la chaleur produite par les rayonnements électromagnétiques émis par le soleil, et nos yeux sont sensibles à la partie visible du spectre des fréquences électromagnétiques. Les champs de radiofréquences (RF) constituent une partie de ce spectre comprise entre les fréquences de 3 kHz et de 300 GHz, soit au-dessous de la fréquence de la lumière visible et au-dessus des fréquences électromagnétiques extrêmement basses. Les champs RF sont produits par de nombreuses sources artificielles, y compris les téléphones cellulaires (mobiles) et les stations de base, les installations de télédiffusion et de radiodiffusion, les radars, du matériel médical, les fours à micro-ondes, les dispositifs de chauffage RF par induction ainsi qu'une variété d'autres dispositifs électroniques utilisés dans nos foyers et au travail.

Un certain nombre d'effets biologiques et d'effets nocifs pour la santé établis, dus à une exposition aiguë à des champs RF, ont été documentés (4-9). Ces effets sont liés à l'échauffement localisé ou à la stimulation de tissus excitables. Les réactions biologiques particulières associées à l'exposition aux champs RF sont en général liées au débit d'absorption de l'énergie ou à l'intensité des courants et des champs électriques internes (gradients de tension). Le débit et la distribution de l'absorption d'énergie RF dépendent fortement de la fréquence, de l'intensité et de l'orientation des champs incidents ainsi que de la taille du corps et de ses propriétés électriques constitutives (constante diélectrique et conductivité). On définit habituellement l'absorption d'énergie RF en termes de débit d'absorption spécifique (DAS), le DAS étant une indication du débit d'absorption d'énergie par unité de masse de tissu corporel, qui s'exprime habituellement en watts par kilogramme (W/kg). Des limites d'exposition, fondées sur une vaste somme de connaissances acquises, ont été établies à l'échelle nationale et internationale afin de protéger le grand public contre tous les effets nocifs associés à une exposition aux champs RF (10–14).

Les limites d'exposition spécifiées dans le Code de sécurité 6 se fondent sur une évaluation approfondie des publications scientifiques traitant des effets thermiques et non thermiques des champs RF sur la santé. Les scientifiques de Santé Canada assurent un suivi continu des études scientifiques examinées par des pairs et font appel à une approche reposant sur la valeur de la preuve pour évaluer les risques possibles d'une exposition aux RF pour la santé. Pour ce faire, on prend en compte la quantité d'études menées sur un paramètre particulier (effet nocif ou nul), mais surtout la qualité de ces études. Les études présentant des failles (qui ont des mesures dosimétriques incomplètes ou des échantillons témoins insuffisants) ont relativement peu de poids, alors que celles qui sont réalisées dans les règles (témoins tous inclus, statistiques appropriées, mesures dosimétriques complètes) en ont davantage. Les limites d'exposition du Code de sécurité 6 sont basées sur le plus faible niveau d'exposition présentant un effet nocif pour la santé scientifiquement établi. Des marges de sécurité ont été incorporées aux limites d'exposition, afin d'assurer que même les pires scénarios d'exposition demeurent bien en deçà du seuil de risque. L'approche scientifique adoptée pour établir les limites d'exposition du Code de sécurité 6 est comparable à celle que suivent les organismes internationaux de normalisation scientifique (15–16). Les restrictions de base du Code de sécurité 6 sont donc semblables à celles qu'ont adoptées la plupart des autres pays, car tous les organismes de normalisation scientifique utilisent les mêmes données scientifiques. Il convient de souligner que le Code de sécurité 6 se fonde sur des effets nocifs pour la santé qui sont établis et devrait être distingué d'autres lignes directrices, municipales ou nationales, reposant sur des considérations sociopolitiques.

Les sections qui suivent précisent les niveaux d'exposition maximaux applicables aux personnes présentes dans des environnements contrôlés et non contrôlés. Ces niveaux ne doivent pas être dépassés.

1.1 OBJECTIF DU CODE

Le présent code spécifie les niveaux d'exposition maximale du corps humain aux RF se situant dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz afin d'éviter des effets nocifs sur la santé humaine dans des environnements contrôlés et non contrôlés.

Dans le présent code, un environnement contrôlé est un environnement qui remplit toutes les conditions ci-dessous :

(a) les intensités des champs RF d'un secteur contrôlé ont été caractérisées convenablement au moyen de mesures ou de calculs,

(b) l'exposition est subie par des personnes qui sont conscientes de la possibilité d'une exposition à de l'énergie RF et connaissent l'intensité des champs RF dans leur environnement, et

(c) l'exposition est subie par des personnes qui sont conscientes des risques potentiels pour la santé associés aux expositions aux RF et peuvent contrôler ces risques au moyen de stratégies d'atténuation.

Tous les environnements non conformes aux conditions précitées sont considérés comme non contrôlés. Les environnements non contrôlés sont soit des secteurs où l'évaluation des champs RF est insuffisante, soit des secteurs auxquels ont accès des personnes qui n'ont pas été sensibilisées de manière appropriée ni formées adéquatement en matière de sécurité en ce qui concerne les RF, et qui n'ont pas les moyens d'évaluer leur exposition à ces champs ou, s'il y a lieu, de prendre des mesures pour atténuer leur exposition aux RF.

2. LIMITES D'EXPOSITION MAXIMALE

Les publications scientifiques relatives aux effets biologiques possibles des RF font l'objet d'un suivi continu par les scientifiques de Santé Canada. Depuis la dernière édition du Code de sécurité 6 (2009), un nombre important de nouvelles études ont permis d'évaluer les risques potentiels associés à des expositions aiguës et chroniques aux RF afin de déterminer les effets possibles de ces champs dans une grande variété de secteurs de la biologie, dont les suivants : cancers chez l'humain; mortalité chez les rongeurs; initiation, promotion et copromotion de tumeurs; mutagénicité et dommages à l'ADN; activité EEG; mémoire, comportement et fonctions cognitives; expression des gènes et des protéines; fonction cardiovasculaire; réponse immunitaire; effets sur la reproduction; et hypersensibilité électromagnétique perçue, parmi d'autres. Les études actuelles sont résumées dans de nombreuses publications (4–8, 17–40).

Malgré la publication de nombreuses autres études sur les RF et la santé, les seuls effets nocifs pour la santé établis, dus à l'exposition aux RF dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz, demeurent associés à l'échauffement des tissus et à la stimulation des nerfs (SN) due à des expositions de courte durée (aiguës). Pour le moment, il n'existe pas de fondement scientifique permettant de poser en principe l'existence de risques nocifs aigus, chroniques et/ou cumulatifs pour la santé attribuables à une exposition à des champs de RF à des niveaux inférieurs aux limites spécifiées dans le Code de sécurité 6. En outre, le manque de preuves de causalité, de vraisemblance biologique et de reproductibilité affaiblit l'hypothèse de l'existence d'autres effets nocifs proposés se produisant à des niveaux inférieurs aux limites spécifiées dans le Code de

sécurité 6. On ne dispose donc pas de fondements crédibles pour la présentation de recommandations scientifiquement fondées visant à limiter l'exposition des personnes à des champs de RF de faible intensité.

Le présent code de sécurité contient des lignes directrices, sous forme de restrictions de base et/ou de niveaux de référence, qui ont pour objet d'éviter les effets nocifs pour la santé humaine d'une exposition à des RF. Les restrictions de base correspondent à des indices d'exposition dans le corps qui ne devraient pas être dépassés. Ces indices d'exposition sont directement liés à des effets nocifs pour la santé établis. Les restrictions de base du présent code de sécurité sont exprimées en : a) intensité de champ électrique interne, et en b) débit d'absorption d'énergie RF (DAS). Ce code de sécurité spécifie également des niveaux de référence en matière d'exposition maximale du corps humain à des RF, car il est souvent difficile de mesurer le DAS ou l'intensité d'un champ électrique interne. Les niveaux de référence sont exprimés en intensité de champs électriques et magnétiques externes non perturbés, en densité de puissance et en courants électriques dans le corps générés par induction ou par contact avec des objets métalliques mis sous tension. Ils ont été établis au moyen d'analyses dosimétriques ayant permis de déterminer les niveaux d'intensité de champs externes qui correspondraient aux niveaux des restrictions de base établies pour le corps humain. Bien que la conformité aux restrictions de base soit nécessaire, une non-conformité aux niveaux de référence ne signifie pas nécessairement que les restrictions de base ne sont pas respectées. En tel cas, il pourrait être nécessaire de prendre de nouvelles mesures ou de faire d'autres calculs pour évaluer la conformité.

En ce qui a trait aux fréquences de 3 kHz à 10 MHz, il faut éviter toute SN par des champs électriques induits dans le corps. Des études expérimentales ont démontré qu'une exposition à des champs électriques et magnétiques peut induire des champs électriques internes (gradients de tension) dans les tissus biologiques et, si ces champs sont suffisamment intenses, ils peuvent modifier le potentiel de « repos » de la membrane des tissus excitables et causer une dépolarisation spontanée de celle-ci, ainsi que générer des potentiels d'action parasites (5, 10, 11, 13, 14, 35, 41). Le présent code de sécurité spécifie des restrictions de base pour éviter la SN qui sont exprimées en intensité maximale de champ électrique interne dans le corps.

Dans le cas des fréquences de 100 kHz à 300 GHz, l'échauffement des tissus peut se produire et doit être limité. Le présent code de sécurité spécifie des restrictions de base qui visent une exposition à des RF dans la gamme de fréquences de 100 kHz à 6 GHz qui sont exprimées en DAS corporel maximal (moyenne calculée en fonction de l'ensemble de la masse corporelle), de même qu'en moyenne spatiale du DAS de crête (moyenne calculée d'après un petit volume cubique). Toutefois, les limites du DAS maximal (calculées d'après l'ensemble de la masse corporelle ou un volume cubique) ne conviennent pas aux fréquences supérieures à 6 GHz, car à ces fréquences, l'énergie RF est surtout absorbée par les tissus superficiels (p. ex. les couches supérieures de la peau). Au lieu de restrictions de base, des niveaux de référence sont spécifiés en vue d'éviter des effets thermiques. Ceux-ci sont exprimés en intensités maximales de champs électriques et magnétiques externes non perturbés et en densité de puissance.

Des études sur des animaux, y compris des primates autres que l'être humain, ont démontré de façon cohérente l'existence d'un seuil pour l'apparition de modifications dans le comportement et d'une hausse de la température centrale du corps de l'ordre de ~1,0°C, pour un DAS corporel moyen de ~4 W/kg (5–8, 11, 12, 14, 36). Des études de thermorégulation, menées sur des

volontaires humains exposés à des RF selon divers scénarios d'exposition, ont fourni des données complémentaires sur les réponses thermiques induites chez l'humain par des champs de RF (42). Ces données constituent le fondement scientifique des restrictions de base en matière de DAS corporel moyen établies dans le Code de sécurité 6. Des facteurs de sécurité ont été intégrés aux limites d'exposition en vue de prévenir tout effet thermique, de sorte que les limites du DAS corporel moyen sont de 0,08 W/kg dans un environnement non contrôlé et de 0,4 W/kg, dans un environnement contrôlé.

Le Code de sécurité 6 spécifie également des restrictions de base qui visent la moyenne spatiale du DAS de crête, afin d'éviter des effets nocifs thermiques dans des tissus humains localisés (points chauds). Les limites de la moyenne spatiale du DAS de crête tiennent compte de la nature hautement hétérogène des expositions typiques aux RF et des différentes propriétés thermorégulatrices de divers tissus corporels. Ces limites s'appliquent à des volumes discrets de tissus (1 ou 10 g, en forme de cube), où la thermorégulation peut efficacement dissiper la chaleur et éviter des hausses de la température du corps de plus de 1°C. Ainsi, les limites de la moyenne spatiale du DAS de crête, pour les expositions dans les environnements contrôlés sont de 20 W/kg pour les membres et de 8 W/kg pour la tête, le cou et le tronc. Pour les expositions dans les environnements non contrôlés, elles sont de 4,0 W/kg pour les membres et de 1,6 W/kg pour la tête, le cou et le tronc.

Dans la gamme de fréquences de 100 kHz à 10 MHz, puisqu'une SN ou des effets thermiques peuvent survenir, dépendant des conditions d'exposition (fréquence, cycle de service, orientation), les restrictions de base de l'intensité de champs électriques internes et du DAS (corps entier et moyenne spatiale de crête) doivent être respectées simultanément. Le Code de sécurité 6 spécifie également des niveaux de référence dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 110 MHz, exprimés en courants induits ou de contact (mA), qui visent à empêcher la perception (stimulation des nerfs), des chocs ou des brûlures (4, 6).

Bien que le fondement biologique des restrictions de base spécifiées dans le présent code de sécurité n'ait pas changé depuis la version antérieure (2009), les niveaux de référence ont été mis à jour, soit pour prendre en compte les améliorations avancées des dernières années en dosimétrie (43–64) soit, lorsque possible, pour les harmoniser avec ceux de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection—ICNIRP) (10–11).

Pour déterminer si les niveaux maximums d'exposition ont été dépassés, il convient de considérer avec soin des facteurs tels que :

(a) la nature de l'environnement d'exposition (contrôlé ou non contrôlé);

(b) les caractéristiques temporelles de la source de RF (durées de fonctionnement et d'arrêt, facteur d'utilisation, direction et temps de balayage du faisceau, etc...);

(c) les caractéristiques spatiales entre une source d'exposition et la zone cible (c.-à-d. expositions en champ proche, du corps entier ou de parties du corps);

(d) l'uniformité du champ de rayonnement (c.-à-d. la moyenne spatiale).

Lors d'une comparaison avec les restrictions de base et/ou avec les niveaux de référence fondés sur le DAS, à des fréquences de 100 kHz à 300 GHz, des niveaux d'exposition plus élevés peuvent être tolérés dans certaines circonstances pour de courtes durées. Dans ces situations, la moyenne des intensités de champs, des densités de puissance et des courants corporels qui est calculée sur n'importe quelle période de référence d'un dixième d'heure (6 min) ne doit pas dépasser les limites indiquées aux sections 2.1 et 2.2.

Les unités du système international (SI) sont utilisées partout dans le présent document à moins d'avis contraire.

2.1 RESTRICTIONS DE BASE

2.1.1 Limites d'intensité du champ électrique interne (3 kHz–10 MHz)

Les limites d'intensité du champ électrique interne visent à empêcher la SN. Aux fréquences de 3 kHz à 10 MHz, les restrictions de base applicables à l'intensité du champ électrique interne dans des tissus excitables (tableau 1) ne doivent pas être dépassées. Dans le cas où les conditions rendent impossible ou impraticable la détermination de l'intensité du champ électrique interne (p. ex. au moyen de mesures ou de modélisation), une évaluation de l'intensité du champ externe non perturbé doit être menée et il faut s'assurer de respecter les niveaux de référence indiqués à la section 2.2.

TABLEAU 1 : Restrictions de base applicables à l'intensité du champ électrique interne (3 kHz–10 MHz)

CONDITION	**Intensité du champ électrique interne (V/m) (dans tout tissu excitable)**
Environnement contrôlé	$2{,}7 \times 10^{-4} f$
Environnement non contrôlé	$1{,}35 \times 10^{-4} f$

Fréquence, f, exprimée en Hz. Des valeurs moyennes quadratiques (valeur rms) instantanées s'appliquent. Dans le cas de champs de RF avec modulation d'amplitude, les valeurs rms pendant le maximum de l'enveloppe de modulation doivent être appliquées.

2.1.2 Limites du débit d'absorption spécifique (100 kHz–6 GHz)

Le DAS est une mesure du débit auquel l'énergie électromagnétique est absorbée dans le corps. Les restrictions de base du DAS visent à empêcher l'apparition d'effets thermiques causés par une exposition du corps à de l'énergie RF. Aux fréquences de 100 kHz à 6 GHz, les limites du DAS (tableau 2) ont priorité sur les niveaux de référence de l'intensité du champ et de la densité de puissance (section 2.2) et ne doivent pas être dépassées.

Le DAS devrait être déterminé dans les situations où l'exposition se produit à une distance de 0,2 m ou moins de la source. Dans tous les cas, les valeurs du tableau 2 ne doivent pas être dépassées. Dans toute condition où il est difficile de calculer le DAS, il faut mesurer l'intensité du champ externe non perturbé ou la densité de puissance, et ce sont les limites indiquées à la section 2.2 qui doivent être respectées.

TABLEAU 2 : Restrictions de base du débit d'absorption spécifique (100 kHz–6 GHz)

	Restriction de base du DAS (W/kg)**	
CONDITION	**Environnement non contrôlé**	**Environnement contrôlé**
DAS moyen pour l'ensemble de la masse corporelle.	0,08	0,4
Moyenne spatiale du DAS de crête pour la tête, le cou et le tronc, moyenne établie pour 1 g de tissu*	1,6	8
Moyenne spatiale du DAS de crête pour les membres, moyenne établie pour 10 g de tissu*	4	20

* Définis comme un volume de tissu sous forme de cube.

** Moyenne calculée sur une période de référence de 6 minutes.

2.1.3 Fréquences de 6 GHz–300 GHz

Pour des fréquences supérieures à 6 GHz, le dépôt d'énergie touche principalement les couches supérieures des tissus superficiels (p. ex. la peau, la cornée). Dans cette situation, la densité de puissance représente un paramètre de limite d'exposition plus approprié. Donc, pour la gamme de fréquences de 6 GHz à 300 GHz, la restriction de base du code de sécurité à ne pas excéder repose sur la densité de puissance non perturbée incidente et sur ses intensités dérivées de champs électriques et magnétiques (si l'on présume une impédance de l'espace libre de 377 ohms) (section 2.2.2).

2.2 NIVEAUX DE RÉFÉRENCE

En pratique, les champs électriques internes ou le DAS ne peuvent souvent être mesurés directement qu'en laboratoire. Le présent code de sécurité spécifie donc des niveaux de référence exprimés en intensité de champs électriques et magnétiques externes non perturbés, en densité de puissance, en courants induits et en courants de contact. Dans la zone de champ lointain d'une source d'énergie électromagnétique, l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique et la densité de puissance sont interreliées par des expressions mathématiques simples, où chacun de ces paramètres définit les deux autres. Dans la zone de champ proche, les intensités des champs électriques et magnétiques non perturbés doivent toutes les deux être mesurées, puisqu'il n'y existe aucune relation simple entre ces deux quantités. Les instruments nécessaires pour mesurer les champs magnétiques à certaines fréquences peuvent ne pas être offerts sur le marché. Dans ce cas, l'intensité du champ électrique doit être mesurée et utilisée pour évaluer la conformité aux niveaux de référence spécifiés dans ce code.

2.2.1 Intensité des champs électriques et magnétiques (3 kHz–10 MHz)

En vue d'assurer la conformité aux restrictions de base indiquées à la section 2.1, aux fréquences entre 0,003 MHz et 10 MHz, il faut respecter simultanément les niveaux de référence d'intensité de champs électriques et magnétiques qui sont fondés sur la SN et le DAS, aux fréquences auxquelles les deux niveaux de référence s'appliquent.

TABLEAU 3 : Niveaux de référence d'intensité du champ électrique

Fréquence (MHz)	Fondement du niveau de référence	Niveau de référence (E_{NR}), (V/m, valeur rms)		Période de référence
		Environnement non contrôlé	Environnement contrôlé	
0,003–10	SN	83	170	Instantanée*
1,0–10	DAS	$87 / f^{0,5}$	$193 / f^{0,5}$	6 minutes**

Fréquence, f, exprimée en MHz. Fréquences précises auxquelles commencent les niveaux de référence d'intensité de champ électrique fondés sur le DAS pour des environnements non contrôlés et contrôlés sont 1,10 MHz et 1,29 MHz, respectivement.

TABLE 4: Magnetic Field Strength Reference Levels

Fréquence (MHz)	Fondement du niveau de référence	Niveau de référence (H_{NR}), (A/m, valeur rms)		Période de référence
		Environnement non contrôlé	Environnement contrôlé	
0,003–10	SN	90	180	Instantanée*
0,1–10	DAS	$0,73 / f$	$1,6 / f$	6 minutes**

Fréquence, f, exprimée en MHz.

NOTES POUR TABLEAUX 3 ET 4:

1. * Les valeurs rms des champs électriques et magnétiques ne doivent jamais excéder les niveaux de référence ayant une période de référence instantanée dans les tableaux 3 et 4. Dans le cas de champs de RF avec modulation d'amplitude, la valeur rms pendant le maximum de l'enveloppe de modulation doit être comparée au niveau de référence.
2. ** Dans le cas d'une exposition plus courte que la période de référence, les intensités de champ peuvent excéder les niveaux de référence, à condition que la moyenne temporelle du carré de l'intensité du champ électrique ou magnétique de toute période égale à la période de référence soit inférieure à E_{NR}^2 ou à H_{NR}^2, respectivement. Dans le cas d'expositions plus longues que la période de référence, y compris les expositions indéfinies, la moyenne temporelle du carré de l'intensité du champ électrique ou magnétique de toute période égale à la période de référence ne doit pas dépasser E_{NR}^2 ou H_{NR}^2, respectivement.
3. Lorsque les intensités de champs électriques (à toutes fréquences applicables) ou magnétiques (à des fréquences égales ou supérieures à 100 kHz) externes ne sont pas uniformes dans l'espace, on doit d'abord calculer la moyenne spatiale des intensités de champs sur toute l'étendue verticale du corps humain, puis faire une comparaison avec les niveaux de référence. Si la comparaison est faite avec les niveaux de référence fondés sur la SN indiqués aux tableaux 3 et 4, la moyenne spatiale doit être calculée selon les valeurs échantillons des intensités de champs. Dans le cas d'une comparaison avec les niveaux de références fondés sur le DAS qui sont indiqués aux tableaux 3 et 4, la moyenne spatiale doit être calculée d'après le carré des valeurs échantillons des intensités de champs.
4. Si les intensités du champ magnétique externe ne sont pas uniformes dans l'espace et sont inférieures à 100 kHz, la valeur de crête spatiale de l'intensité du champ magnétique sur l'étendue verticale du corps humain doit être comparée aux niveaux de référence du tableau 4 (c.-à-d. aux fréquences inférieures à 100 kHz, la moyenne spatiale des intensités du champ magnétique ne doit pas être calculée).

5. Dans le cas d'expositions simultanées à de multiples fréquences et lorsqu'une comparaison avec le niveau de référence fondé sur la SN doit être faite, l'amplitude de l'intensité de champ de chaque composante fréquentielle doit être divisée par le niveau de référence de l'intensité du champ pour cette fréquence. La somme de tous ces rapports ne doit pas dépasser un, ce qui peut être exprimé comme suit : $\sum (E_i/E_{NR}) \leq 1$, pour l'intensité d'un champ électrique ou $\sum (H_i/H_{NR}) \leq 1$, pour l'intensité d'un champ magnétique.
6. Dans le cas d'expositions simultanées à de multiples fréquences et lorsqu'une comparaison avec le niveau de référence fondé sur le DAS doit être faite, le carré de l'amplitude de l'intensité de champ de chaque composante fréquentielle doit être divisée par le carré du niveau de référence de l'intensité du champ pour cette fréquence. La somme de tous ces rapports ne doit pas dépasser un, ce qui peut être exprimé comme suit : $\sum (E_i/E_{NR})^2 \leq 1$, pour l'intensité d'un champ électrique ou
$\sum (H/H_{NR})^2 \leq 1$, pour l'intensité d'un champ magnétique.
7. Dans le cas d'expositions localisées des membres, les niveaux de référence du champ magnétique peuvent être excédés pourvu que les restrictions de base précisées au tableau 1 soient respectées dans les membres.

2.2.2 Intensité du champ électrique, intensité du champ magnétique et densité de puissance (10 MHz–300 GHz)

En vue d'assurer la conformité aux restrictions de base de la section 2.1, aux fréquences entre 10 MHz et 300 GHz, les niveaux de référence d'intensité des champs électriques et magnétiques et de densité de puissance doivent être respectés.

TABLEAU 5 : Niveaux de référence d'intensité du champ électrique, d'intensité du champ magnétique et de densité de puissance dans des environnements non contrôlés

Fréquence (MHz)	Intensité du champ électrique (E_{NR}), (V/m, valeur rms)	Intensité du champ magnétique (H_{NR}), (A/m, valeur rms)	Densité de puissance (S_{NR}), (W/m^2)	Période de référence (minutes)
10–20	27,46	0,0728	2	6
20–48	$58,07 / f^{0,25}$	$0,1540 / f^{0,25}$	$8,944 / f^{0,5}$	6
48–300	22,06	0,05852	1,291	6
300–6000	$3,142 f^{0,3417}$	$0,008335 f^{0,3417}$	$0,02619 f^{0,6834}$	6
6 000–15 000	61,4	0,163	10	6
15 000–150 000	61,4	0,163	10	$616 000 / f^{1,2}$
150 000–300 000	$0,158 f^{0,5}$	$4,21 \times 10^{-4} f^{0,5}$	$6,67 \times 10^{-5} f$	$616 000 / f^{1,2}$

Fréquence, f, exprimée en MHz.

TABLEAU 6 : Niveaux de référence d'intensité du champ électrique, d'intensité du champ magnétique et de densité de puissance dans des environnements contrôlés

Fréquence (MHz)	Intensité du champ électrique (E_{NR}), (V/m, valeur rms)	Intensité du champ magnétique (H_{NR}), (A/m, valeur rms)	Densité de puissance (S_{NR}), (W/m^2)	Période de référence (minutes)
10–20	61,4	0,163	10	6
20–48	$129,8 / f^{0,25}$	$0,3444 / f^{0,75}$	$44,72 / f^{0,5}$	6
48–100	49,33	0,1309	6,455	6
100–6 000	$15,60\ f^{0,25}$	$0,04138\ f^{0,25}$	$0,6455\ f^{0,5}$	6
6 000–15 000	137	0,364	50	6
15 000–150 000	137	0,364	50	$616\,000 / f^{1,2}$
150 000–300 000	$0,354\ f^{0,5}$	$9,40 \times 10^{-4}\ f^{0,5}$	$3,33 \times 10^{-4}\ f$	$616\,000 / f^{1,2}$

Fréquence, f, exprimée en MHz.

NOTES POUR TABLEAUX 5 ET 6:

1. Dans le cas d'une exposition plus courte que la période de référence, les intensités de champ peuvent excéder les niveaux de référence, à condition que la moyenne temporelle du carré de l'intensité du champ électrique ou magnétique de toute période égale à la période de référence ne dépasse pas E_{NR}^2 ou H_{NR}^2, respectivement. Dans le cas d'expositions plus longues que la période de référence, y compris les expositions indéfinies, la moyenne temporelle du carré de l'intensité du champ électrique ou magnétique de toute période égale à la période de référence ne doit pas dépasser E_{NR}^2 ou H_{NR}^2, respectivement.
2. Dans le cas d'une exposition estimée en fonction de la densité de puissance et d'expositions plus courte que la période de référence, les niveaux de densité de puissance peuvent excéder les niveaux de référence, à condition que la moyenne temporelle de la densité de puissance de toute période égale à la période de référence ne dépasse pas S_{NR}. Dans le cas d'expositions plus longues que la période de référence, y compris les expositions indéfinies, la moyenne temporelle de la densité de puissance de toute période égale à la période de référence ne doit pas dépasser S_{NR}.
3. Pour les intensités de champs externes ou la densité de puissance qui ne sont pas uniformes dans l'espace, on peut utiliser la moyenne spatiale pour la comparaison aux niveaux de référence, pourvu que la méthode d'échantillonnage utilisée garantisse qu'aucune des restrictions de base n'est dépassée lorsque la moyenne spatiale de l'exposition correspond au niveau de référence. Dans le cas où le calcul de la moyenne spatiale n'est pas utilisé, c'est la valeur de crête spatiale de l'intensité de champ qu'il faut comparer aux niveaux de référence. Pour les intensités de champ, la moyenne spatiale doit être calculée d'après le carré des valeurs des échantillons, tandis que pour la densité de puissance, la moyenne spatiale doit être calculée d'après la valeur des échantillons.
4. Dans le cas d'expositions simultanées à de multiples fréquences et lorsque l'exposition est estimée en densité de puissance, l'amplitude de la densité de puissance de chaque composante fréquentielle doit être divisée par le niveau de référence pour cette fréquence. La somme de tous ces rapports ne doit pas dépasser un, ce qui peut être exprimé comme suit : $\sum (S_i/S_{NRi}) \leq 1$.

5. Dans le cas d'expositions simultanées à de multiples fréquences et lorsque l'exposition est estimée en intensité de champ, le carré de l'amplitude de l'intensité de champ de chaque composante fréquentielle doit être divisée par le carré du niveau de référence de l'intensité du champ pour cette fréquence. La somme de tous ces rapports ne doit pas dépasser un, ce qui peut être exprimé comme suit : $\sum (E_i/E_{NR})^2 \leq 1$, pour l'intensité d'un champ électrique ou $\sum (H_i/H_{NR})^2 \leq 1$, pour l'intensité d'un champ magnétique.
6. Dans le cas d'expositions à de l'énergie RF pulsée estimées en densité de puissance, la moyenne temporelle de la densité de puissance, de toute période égale à la période de référence, ne doit pas dépasser S_{NR} et la densité de puissance, dont la moyenne est calculée d'après la largeur d'impulsion, ne doit pas dépasser une valeur égale à 1 000 fois le niveau de référence S_{NR}.
7. Dans le cas d'expositions à de l'énergie RF pulsée estimées en intensité de champ, la moyenne temporelle du carré de l'intensité du champ électrique ou magnétique de toute période égale à la période de référence ne doit pas dépasser E_{NR}^2 ou H_{NR}^2. De plus, la moyenne temporelle du carré de l'intensité du champ électrique ou magnétique, calculée d'après la largeur d'impulsion, ne doit pas dépasser 1 000 fois E_{NR}^2 ou H_{NR}^2. Donc, la valeur rms de l'intensité de champ électrique ou magnétique, calculée d'après l'impulsion, ne doit pas dépasser une valeur égale à 32 fois E_{NR} ou H_{NR}.

2.2.3 Courant induit et courant de contact (3 kHz–110 MHz)

Un courant induit correspond au courant qui parcourt un seul pied jusqu'au sol dans un corps humain sans support (sans contact avec des objets conducteurs), exposé à un champ électrique. Dans le cas d'une évaluation du courant qui circule dans les deux pieds, on doit comparer le résultat obtenu avec le double du niveau de référence d'un seul pied.

Un courant de contact se définit comme le courant total qui traverse le corps jusqu'au sol et qui est causé par un contact tactile avec un objet conducteur isolé et mis sous tension dans un champ électrique. À l'inverse, il peut correspondre au courant total qui traverse un corps isolé et sous tension dans un champ électrique qui est en contact tactile avec un objet conducteur mis à la terre. Le courant traverse le corps depuis le point de contact jusqu'au sol en passant dans les pieds. On peut évaluer le courant total à n'importe quel point le long du trajet du courant.

TABLEAU 7 : Niveaux de référence du courant induit

Fréquence (MHz)	Fondement du niveau de référence	Niveau de référence (I_{NR}) à travers un seul pied, (mA) (valeur rms)		Période de référence
		Environnement non contrôlé	Environnement contrôlé	
0,003–0,4	SN	100 f	225 f	Instantanée*
0,4–110	DAS	40	90	6 minutes**

Fréquence, f, exprimée en MHz.

TABLEAU 8 : Niveaux de référence du courant de contact

Fréquence (MHz)	Fondement du niveau de référence	Niveau de référence (I_{NR}), (mA) (valeur rms)		Période de référence
		Environnement non contrôlé	Environnement contrôlé	
0,003–0,10	SN	200 f	400 f	Instantanée*
0,1–10	DAS	20	40	Instantanée*
10–110	DAS	20	40	6 minutes**

Fréquence, f, exprimée en MHz.

NOTES POUR TABLEAUX 7 ET 8:

1. * Les valeurs rms du courant induit et du courant de contact ne doivent jamais excéder les niveaux de référence ayant une période de référence instantanée dans les tableaux 7 et 8. Dans le cas de courants avec modulation d'amplitude, la valeur rms pendant le maximum de l'enveloppe de modulation doit être comparée au niveau de référence.
2. ** Dans le cas d'une exposition plus courte que la période de référence, les courants peuvent excéder les niveaux de référence, à condition que la moyenne temporelle du carré du courant de toute période égale à la période de référence ne dépasse pas I_{NR}^2. Dans le cas d'expositions plus longues que la période de référence, y compris les expositions indéfinies, la moyenne temporelle du carré du courant de toute période égale à la période de référence ne doit pas dépasser I_{NR}^2.
3. Dans le cas d'expositions simultanées à de multiples fréquences et lorsqu'une comparaison avec le niveau de référence fondé sur la SN doit être faite, l'amplitude du courant induit ou du courant de contact de chaque composante fréquentielle doit être divisée par le niveau de référence pour cette fréquence. La somme de tous ces rapports ne doit pas dépasser un, ce qui peut être exprimé comme suit : $\sum (I_i/I_{NR}) \leq 1$.
4. Dans le cas d'expositions simultanées à de multiples fréquences et lorsqu'une comparaison avec le niveau de référence fondé sur le DAS doit être faite, le carré de l'amplitude du courant induit ou du courant de contact de chaque composante fréquentielle doit être divisée par le carré du niveau de référence pour cette fréquence. La somme de tous ces rapports ne doit pas dépasser un, ce qui peut être exprimé comme suit : $\sum (I_i/I_{NR})^2 \leq 1$.
5. Dans le cas de courants induits ou de courants de contact pulsés présentant une période de référence de six minutes, la moyenne temporelle du carré du courant induit ou du courant de contact de toute période égale à la période de référence ne dépasse pas I_{NR}^2. De plus, la moyenne temporelle du carré du courant induit ou du courant de contact, dont la moyenne est calculée d'après la largeur d'impulsion, ne doit pas dépasser 1 000 fois le niveau de référence I_{NR}^2. Donc, la valeur rms du courant induit ou du courant de contact, calculée d'après l'impulsion, ne doit pas dépasser une valeur égale à 32 fois le niveau de référence I_{NR}.

ABRÉVIATIONS

A	ampère
DAS	débit d'absorption spécifique
EEG	électroencéphalogramme
E_i	amplitude de l'intensité de champ électrique de chaque composante fréquentielle (valeur rms)
E_{NR}	niveau de référence de l'intensité d'un champ électrique
g	gramme
GHz	gigahertz
H_i	amplitude de l'intensité de champ magnétique de chaque composante fréquentielle (valeur rms)
H_{NR}	niveau de référence de l'intensité d'un champ magnétique
ICNIRP	Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
I_i	amplitude du courant de chaque composante fréquentielle (valeur rms)
I_{NR}	niveau de référence du courant
kg	kilogramme
kHz	kilohertz
m	mètre
mA	milliampère
MHz	mégahertz
mm	millimètre
RF	radiofréquence
SI	Système international d'unités
S_i	amplitude de la densité de puissance de chaque composante fréquentielle
SN	stimulation des nerfs
S_{NR}	niveau de référence de la densité de puissance
V	volt
valeur rms	valeur moyenne quadratique
W	watt

DÉFINITIONS

champ électrique – Grandeur vectorielle assignée à un point dans l'espace, où l'ampleur et la direction de la force qui seraient ressenties par une charge d'épreuve hypothétique sont définies.

champ magnétique – Grandeur vectorielle assignée à un point dans l'espace, où l'ampleur et la direction de la force qui seraient ressenties par une charge d'épreuve hypothétique en mouvement sont définies. Un champ magnétique exerce une force sur des charges uniquement si elles sont en mouvement, et des charges produisent un champ magnétique uniquement lorsqu'elles sont en mouvement.

courant de contact – Courant total qui traverse le corps humain jusqu'au sol et est causé par un contact tactile avec un objet conducteur isolé sous tension dans un champ électrique ou par un corps isolé sous tension dans un champ électrique qui est en contact tactile avec un objet conducteur mis à la terre.

courant induit – Courant qui parcourt un seul pied jusqu'au sol dans un corps humain sans support (n'ayant aucun contact avec un objet conducteur) exposé à un champ électrique.

débit d'absorption spécifique (DAS) – Mesure du débit auquel l'énergie est absorbée par le corps (ou par un volume distinct de tissu) lorsqu'il est exposé à des champs de radiofréquences (RF). Le DAS est exprimé en watts par kilogramme (W/kg) et se calcule en multipliant la conductivité d'un tissu donné (S/m) par le carré de la valeur rms de l'intensité du champ électrique induit dans le tissu (V/m), puis en divisant le résultat obtenu par la masse volumique (kg/m^3) du tissu.

densité de puissance – Débit de l'énergie électromagnétique par unité de surface habituellement exprimé en W/m^2 ou mW/cm^2 ou $\mu W/cm^2$.

effets non thermiques – Effets biologiques attribuables à une exposition à des champs RF, qui ne résulte pas d'un échauffement de tissus.

effets thermiques – Effets biologiques résultant de l'échauffement de tout le corps ou d'une partie de celui-ci résultant d'une exposition à des champs RF, où une augmentation de la température suffisante pour produire un effet physiologique marqué se produit.

environnement contrôlé – Zone où les intensités des champs RF ont été caractérisées convenablement au moyen de mesures ou de calculs et où sont exposées des personnes conscientes des risques d'exposition à des champs RF, de l'intensité de cette énergie dans leur environnement et des risques potentiels pour la santé associés à une exposition à des champs RF et qui sont capables de limiter ces risques au moyen de stratégies d'atténuation.

environnement non contrôlé – Zone où n'importe quelle condition définissant l'environnement contrôlé n'est pas remplie.

fréquence – Nombre de cycles dans la variation de l'amplitude d'une onde électromagnétique pendant une seconde, exprimé en hertz (Hz).

grand public – Personnes de tous les groupes d'âge, de toutes les tailles et de divers états de santé, dont certaines peuvent, dans certains cas, satisfaire aux conditions définies pour l'environnement contrôlé.

intensité du champ – Ampleur du champ électrique ou magnétique, habituellement une valeur efficace (valeur rms).

membres – Extrémités distales des articulations des épaules et des hanches, qui n'incluent pas les gonades.

niveau de référence – Grandeur facilement mesurée ou calculée (c.-à-d. intensité du champ électrique externe, intensité du champ magnétique externe et densité de puissance ou courant corporel résultant) qui, lorsque respectée, assure la conformité aux restrictions de base sous-jacentes du Code de sécurité 6.

période de référence – Période de temps utilisée pour calculer la moyenne d'expositions à des champs RF qui sont temporellement non uniformes, en vue d'une comparaison avec les limites d'exposition prescrites dans le Code de sécurité 6. Les périodes de référence spécifiées dans le Code de sécurité 6 sont fondées sur les effets nocifs pour la santé établis à éviter et sur le délai d'apparition de ces effets. La période de référence n'est pas un temps maximal d'exposition.

rayonnement électromagnétique – Forme d'énergie émise par des charges électriques en accélération qui présente un comportement similaire à une onde lors de son déplacement dans l'espace.

restrictions de base – Grandeurs électriques internes maximales permises dans le corps humain, résultantes d'une exposition à des champs externes incidents, qui préviennent l'apparition de tout effet nocif pour la santé qui a été démontré.

radiofréquence (RF) – Taux d'oscillation dans la gamme de fréquences allant d'environ 3 kHz à 300 GHz, qui correspond à la gamme des ondes radioélectriques généralement utilisées pour la radiocommunication.

sécurité – Absence d'effets nocifs pour la santé établis causés par une exposition à des RF.

valeur moyenne quadratique (valeur rms) – Telle qu'appliquée sur un ensemble de données, elle correspond à la racine carrée de la moyenne des carrés des données.

zone du champ lointain – Espace au-delà d'une limite imaginaire autour de l'antenne, où la distribution du champ angulaire commence à être essentiellement indépendante de la distance de l'antenne. Dans cette zone, le champ a surtout un caractère d'onde plane.

zone du champ proche – Volume d'espace rapproché de l'antenne ou d'une autre structure rayonnante, où les champs électrique et magnétique n'ont pas foncièrement un caractère d'onde plane, mais varient considérablement d'un point à l'autre à la même distance de la source.

RÉFÉRENCES

1 Industrie Canada. *Exigences générales et information relatives à la certification des appareils radio*, Cahiers des charges sur les normes radioélectriques (CNR-Gen), Gestion du spectre et télécommunications.

2 Industrie Canada. *Conformité des appareils de radiocommunication aux limites d'exposition humaine aux radiofréquences (toutes bandes de fréquences)*, Cahier des charges sur les normes radioélectriques (CNR-Gen), Gestion du spectre et télécommunications.

3 Industrie Canada. *Systèmes d'antennes de radiocommunications et de radiodiffusion*, Circulaire des procédures concernant les clients (CPC-2-0-03), Gestion du spectre et télécommunications.

4 Organisation mondiale de la Santé (OMS). *Extremely Low Frequency Fields*, Environmental Health Criteria 238. Genève, Suisse, 2007. ISBN 9789241572385.

5 Organisation mondiale de la Santé (OMS). *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)*, Environmental Health Criteria 137. Genève, Suisse, 1993. ISBN 9241571373.

6 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)*, Munich, Allemagne, 2009. ISBN 9783934994102.

7 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Directorate General, Commission européenne. *Possible Effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health, Health and Consumer Protection*, Bruxelles, Belgique, 2007.

8 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Directorate General, Commission européenne. *Health Effects of Exposure to EMF, Health and Consumer Protection*, Bruxelles, Belgique, 2009.

9 Advisory Group on Non-Ionising Radiation (AGNIR). *Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields (RCE 20)*, Chilton, Royaume-Uni, 2012. ISBN 9780859517140.

10 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)*, Health Physics 99: 818–836, 2010.

11 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, Health Physics 74:494–522, 1998.

12 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Statement on the « Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) »*, Health Physics 97: 257–258, 2009.

13 Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). *IEEE C95.6-2002 Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz*, New York, États-Unis, 2002.

14 Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). *IEEE C95.1-2005 Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*, New York, États-Unis, 2005.

15 Organisation mondiale de la Santé (OMS). *Framework for developing health-based EMF standards*, Genève, Suisse, 2006. ISBN 9241594330.

16 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Statement: General approach to protection against non-ionizing radiation*, Health Physics 82: 540–548, 2002.

[17] Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC). *Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields*, Monographie du CIRC, volume 102. Lyon, France, 2013. ISBN 9789283213253.

[18] Krewski D, Glickman BW, Habash RW, Habbick B, Lotz WG, Mandeville R, Prato FS, Salem T et Weaver DF. *Recent advances in research on radiofrequency fields and health: 2001–2003*, Journal of Toxicology and Environmental Health B Critical Review 10: 287–318, 2007.

[19] Habash RW, Elwood JM, Krewski D, Lotz WG, McNamee JP et Prato FS. *Recent advances in research on radiofrequency fields and health: 2004–2007*, Journal of Toxicology and Environmental Health B Critical Review 12: 250–288, 2009.

[20] Valberg PA, Van Deventer TE et Repacholi MH. *Workgroup report: base stations and wireless networks-radiofrequency (RF) exposures and health consequences*, Environmental Health Perspectives 115: 416–424, 2007.

[21] Moulder JE, Foster KR, Erdreich LS et McNamee JP. *Mobile phones, mobile phone base stations and cancer: a review*, International Journal of Radiation Biology 81: 189–203, 2005.

[22] Verschaeve L. *Genetic damage in subjects exposed to radiofrequency radiation*, Mutation Research 681: 259–270, 2009.

[23] Vanderstraeten J et Verschaeve L. *Gene and protein expression following exposure to radiofrequency fields from mobile phones*, Environmental Health Perspectives 116: 1131–1135, 2008.

[24] McNamee JP et Chauhan V. *Radiofrequency radiation and gene/protein expression: A review*, Radiation Research 172: 265–287, 2009.

[25] Cook CM, Saucier DM, Thomas AW et Prato FS. *Exposure to ELF magnetic and ELF-modulated radiofrequency fields: the time course of physiological and cognitive effects observed in recent studies (2001–2005)*, Bioelectromagnetics 27: 613–627, 2006.

[26] D'Andrea JA, Chou CK, Johnston SA et Adair ER. *Microwave effects on the nervous system*, Bioelectromagnetics Supplement 6: S107–147, 2003.

[27] D'Andrea JA, Adair ER et De Lorge JO. *Behavioural and cognitive effects of microwave exposure*, Bioelectromagnetics Supplement 6: S39–62, 2003.

[28] McNamee JP et Bellier PV. *Cytogenetic and Carcinogenetic Effects of Exposure to Radiofrequency Radiation*, « Chromosomal Alterations: Methods, Results and Importance in Human Health », New York, États-Unis, 2007, Günter Obe et Vijayalaxmi, Springer. ISBN 9783540714132.

[29] Jauchem JR. *Effects of low-level radio-frequency (3kHz to 300GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: a review of the recent literature*, International Journal of Hygiene and Environmental Health 211: 1–29, 2008.

[30] Rubin GJ, Das Munshi J et Wessely S. *Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies*, Psychosomatic Medicine 67: 224–232, 2005.

[31] Rubin GJ, Nieto-Hernandez R et Wessely S. *Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly 'electromagnetic hypersensitivity'): An updated systematic review of provocation studies*, Bioelectromagnetics 31: 1–11, 2010.

[32] Röösli M. *Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: a systematic review*, Environmental Research 107: 277–287, 2008.

[33] Röösli M et Hug K. *Wireless communication fields and non-specific symptoms of ill health: a literature review*, Wiener Medizinische Wochenschrift 161: 240–250, 2011.

[34] Röösli M, Frei P, Mohler E et Hug K. *Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations*, Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé 88: 887–896F, 2010.

[35] Reilly JP. *Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulation to Electropathology*, Springer, New York, États-Unis, 1998. ISBN 0387984070.

[36] D'Andrea JA, Ziriax JM et Adair ER. *Radio frequency electromagnetic fields: mild hyperthermia and safety standards*, Progress in Brain Research 162: 107–135, 2007.

[37] Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). *Radiofréquences et santé : Mise à jour de l'expertise*. Maisons-Alfort, France, 2013.

[38] Norwegian Institute of Public Health. *Low-level radiofrequency electromagnetic fields – an assessment of health risks and evaluation of regulatory practice (English summary)*. Oslo, Norvège, 2012. ISBN 9788280825100.

[39] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). *Preliminary opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. Commission européenne, Health & Consumers Directorate C: Public Health. Luxembourg, 2013. ISBN 9789279301346.

[40] Swedish Radiation Health Authority (SSM). *Eighth report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields*. Stockholm, Suède, 2013. Numéro de rapport: 2013:19, ISSN: 2000–0456.

[41] So PP, Stuchly MA et Nyenhuis JA. *Peripheral nerve stimulation by gradient switching fields in magnetic resonance imaging*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering 51: 1907–1914, 2004.

[42] Adair ER et Black DR. *Thermoregulatory responses to RF energy absorption*, Bioelectromagnetics Supplements 6: S17–S38, 2003.

[43] Conil E, Hadjem A, Lacroux F, Wong MF et Wiart J. *Variability analysis of SAR from 20 MHz to 2.4 GHz for different adult and child models using finite-difference time-domain*, Physics in Medicine and Biology 53: 1511–1525, 2008.

[44] Kühn S, Jennings W, Christ A et Kuster N. *Assessment of induced radio-frequency electromagnetic fields in various anatomical human body models*, Physics in Medicine and Biology 54: 875–890, 2009.

[45] Nagaoka T, Kunieda E et Watanabe S. *Proportion-corrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz*, Physics in Medicine and Biology 53: 6695–6711, 2008.

[46] Gandhi OP, Chen JY et Riazi A. *Currents induced in a human being for plane-wave exposure conditions 0–50 MHz and for RF sealers*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering 33: 757–767, 1986.

[47] Tofani S, D'Amore G, Fiandino G, Benedetto A, Gandhi OP et Chen JY. *Induced foot-currents in humans exposed to VHF radio-frequency EM fields*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility 37: 96–99, 1995.

[48] Kaune WT, Guttman JL et Kavet R. *Comparison of coupling of humans to electric and magnetic fields with frequencies between 100 Hz and 100 kHz*, Bioelectromagnetics 18: 67–76, 1997.

[49] Bakker JF, Paulides MM, Neufeld E, Christ A, Chen XL, Kuster N et Van Rhoon GC. *Children and adults exposed to low-frequency magnetic fields at the ICNIRP reference levels: theoretical assessment of the induced electric fields*, Physics in Medicine and Biology 57: 1815–1829, 2012.

[50] Gandhi OP, Chatterjee I, Wu D et Gu YG. *Likelihood of high rates of energy deposition in the human legs at the ANSI recommended 3–30 MHz RF safety levels*, Proceedings of the IEEE 73: 1145–1147, 1985.

[51] Gandhi OP et Chatterjee I. *Radio-frequency hazards in the VLF to MF band*, Proceedings of the IEEE 70: 1462–1464, 1982.

[52] Bernhardt JH. *The establishment of frequency dependent limits for electric and magnetic fields and evaluation of indirect effects*, Radiation and Environmental Biology 27: 1–27, 1988.

[53] Dimbylow PJ. *The calculation of induced currents and absorbed power in a realistic, heterogeneous model of the lower leg for applied electric fields from 60 Hz to 30 MHz*, Physics in Medicine and Biology 33: 1453–1468, 1988.

[54] Dimbylow PJ. *The calculation of localised SAR in a 2 mm resolution anatomically realistic model of the lower leg*, Radiation Protection Dosimetry 72: 321–326, 1997.

[55] Dimbylow PJ. *The relationship between localised SAR in the arm and wrist current*, Radiation Protection Dosimetry 95: 177–179, 2001.

[56] Dimbylow PJ. *Fine resolution calculations of SAR in the human body for frequencies up to 3 GHz*, Physics in Medicine and Biology 47: 2835–2846, 2002.

[57] Dimbylow PJ. *The calculation of SAR from limb current in the female voxel phantom, NAOMI*, Radiation Protection Dosimetry 121: 236–239, 2006.

[58] Dimbylow P. *Development of the female voxel phantom, NAOMI, and its application to calculations of induced current densities and electric fields from applied low frequency magnetic and electric fields*, Physics in Medicine and Biology 50: 1047–1070, 2005.

[59] Dimbylow P et Bolch W. *Whole-body-averaged SAR from 50 MHz to 4 GHz in the University of Florida child voxel phantoms*, Physics in Medicine and Biology 52: 6639–6649, 2007.

[60] Chatterjee I, Wu D et Gandhi OP. *Human body impedance and threshold currents for perception and pain for contact hazard analysis in the VLF-MF band*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering 33: 486–494, 1986.

[61] Findlay RP, Lee AK et Dimbylow PJ. *FDTD calculations of SAR for child voxel models in different postures between 10 MHz and 3 GHz*. Radiation Protection Dosimetry 135: 226–231, 2009.

[62] Lee AK et Choi HD. *Determining the influence of Korean population variation on whole-body average SAR*. Physics in Medicine and Biology 57: 2709–2725, 2012.

[63] Dimbylow P, Bolch W et Lee C. *SAR calculations from 20 MHz to 6 GHz in the University of Florida newborn voxel phantom and their implications for dosimetry*. Physics in Medicine and Biology 55: 1519–1530, 2010.

[64] Hirata A, Yanase K, Laakso I, Chan KH, Fujiwara O, Nagaoka T, Watanabe S, Conil E et Wiart J. *Estimation of the whole-body averaged SAR of grounded human models for plane wave exposure at respective resonance frequencies*. Physics in Medicine and Biology 57: 8427–8442, 2012.